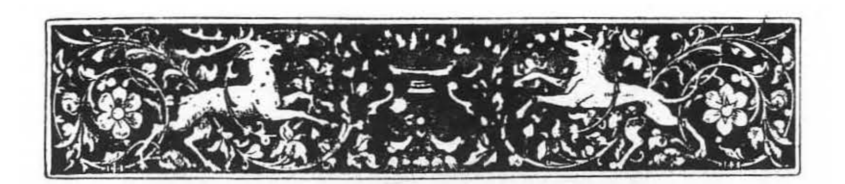


L'HUMUS FORESTIER

Première partie : Propriétés générales *

par

G. MANIL

Laboratoire de pédologie forestière
Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux

La pédologie s'intègre très aisément dans l'ensemble des sciences forestières.

Il suffit, pour s'en rendre compte, de constater combien il est de forestiers illustres qui ont participé au développement des sciences du sol; il suffit surtout

---

* Une 2e partie « Applications pratiques » sera publiée ultérieurement.

d'observer comment un des problèmes pédologiques par excellence, celui de l'humus, en arrive à rencontrer un grand nombre des principales préoccupations scientifiques et pratiques du sylviculteur.

L'humus forestier, comme l'humus en général, est un très curieux complexe dont la fonction principale, en fait, consiste à établir un pont organique entre la lithosphère superficielle, c'est-à-dire la mince pellicule minérale correspondant au sol et la biosphère terrestre, la forêt en l'occurrence.

Ce pont organique tire son origine des faits suivants :

Les débris végétaux et animaux qui retournent au sol sont soumis à des actions fauniques et microbiennes, les transformant au moins partiellement en des matières organiques originales peu décomposables. Elles deviennent capables donc de séjourner plus ou moins longtemps dans la terre surtout lorsqu'elles se sont unies aux colloïdes minéraux, c'est-à-dire à l'argile pédologique, pour former des complexes divers.

Un rappel très schématique de la genèse de la matière organique du sol permettra aisément de comprendre la grande diversité observée dans le comportement écologique des principaux types d'humus forestier.

Nous examinerons tout d'abord le cours de processus d'humification en distinguant arbitrairement plusieurs phases pour les besoins de l'exposé, sachant parfaitement bien qu'en réalité les phénomènes se passent d'une manière continue et progressive.

Il y a tout d'abord *la phase de désagrégation physique* ou de fragmentation ;

sous l'influence des alternatives d'hydratation et de dessiccation, sous l'influence du gel, sous l'action mécanique des grosses gouttes de pluies tombant des arbres, et surtout suite à l'action d'animaux minuscules comme certains acariens et collemboles qui perforent les feuilles mortes de très nombreuses cavités.

Cette première étape est elle-même précédée ou accompagnée du lessivage par les eaux de pluie de la faible quantité d'éléments solubles contenue dans les débris frais comme des sels minéraux, des sucres, des acides aminés, etc.

La phase de désagrégation biologique apparaît ensuite, sous l'influence des microorganismes. A part des composés spécialement résistants comme les cires, les résines, les chitines, etc., les autres constituants animaux et végétaux peuvent être l'objet d'attaques microbiennes qui simplifient les grosses molécules grâce à toute une série d'activités enzymatiques dont les plus connues sont la *cellulolyse* aux dépens des celluloses et hémicelluloses et la *protéolyse* aux dépens des matières protéiques.

Dès cette phase, nous constatons plusieurs orientations biologiques.

La première concerne les situations les plus favorables où les activités bactériennes aérobies sont les plus importantes et intéressent la grande majorité des composés organiques. Il y a combustion complète d'une grande partie des composés carbonés avec dégagement massif d'anhydride carbonique, libération d'eau et nitrification abondante. Mais il y a surtout production de beaucoup d'éléments simplifiés à grand pouvoir réactionnel qui interviendront dans la phase suivante.

La seconde orientation se produit encore dans un milieu bien aéré mais très pauvre en bases. Elle est dominée par les champignons et spécialement des moisissures qui s'attaquent à un nombre restreint de constituants en élaborant des matières très acides, capables, comme nous le verrons, d'hydrolyser les argiles et de mobiliser certains de leurs constituants.

La troisième correspond à des conditions anaérobies en milieu chimiquement riche. La décomposition s'effectue de manière ralentie sous l'influence des bactéries

anaérobies avec production de matières à combustion incomplète comme le méthane ou certains acides organiques.

Il n'y a toutefois pas apparition de substances à caractère aussi acide que dans le cas précédent.

La quatrième orientation possible, nous la trouvons typiquement dans la formation de tourbes à sphaignes, en conditions à la fois très humides et très acides. Les phénomènes de simplification sont extrêmement réduits en quantités mais suffisants cependant pour engendrer des substances fort acides capables de s'attaquer également aux colloïdes minéraux.

La phase suivante est celle de la *synthèse ou de la mélanisation* pour citer un terme qui fait allusion à l'apparition de matières noires, ou *acides humiques.*

Suivant la première orientation biologique ci-dessus, les nombreux produits formés, à grand pouvoir réactionnel, interviennent abondamment dans le genèse de matières nouvelles, de teinte généralement foncée, qui forment les *acides humiques* proprement dits, et dont une des propriétés fondamentales consiste à fixer *de fortes quantités d'azote.* Parmi les substances de base des acides humiques, il y a les polyuronides et certains composés quinoniques.

Or, ce sont précisément les tubes digestifs des animaux du sol qui offrent les meilleures conditions physico-chimiques pour l'élaboration de ces matières originales de synthèse, en fonctionnant comme de petits laboratoires au sein desquels les bactéries peuvent pulluler grâce au pH légèrement alcalin qui y règne.

Il est donc possible de concevoir dès à présent que, parmi les meilleurs sols forestiers, beaucoup doivent se caractériser par une abondante faune et spécialement par les espèces les plus intéressantes de lombricides, les gros vers musculeux.

Sur les sols pauvres correspondant à la seconde orientation, les phénomènes de synthèse sont moins importants. Les acides humiques formés comprennent

surtout des substances résiduelles plus ou moins oxydées, plus ou moins polymérisées, très acides et pauvres en azote.

Sur les aires à mauvais drainage, les phénomènes de synthèse sont également peu abondants. Dans l'humus se retrouve une très forte proportion de substances résiduelles peu transformées, caractérisant les phénomènes de la tourbification. Les termes de *tourbières hautes* et *tourbières basses* sont classiquement employés pour désigner les deux modes principaux de formation dont les produits diffèrent entre eux par le degré d'acidité, la richesse en bases et en azote, et par l'agressivité à l'égard des minéraux du sol.

Une dernière phase, celle des *complexes organo-minéraux* permet d'achever la distinction entre les différents types d'humus.

Quand la matière organique des sols se compose en majeure partie d'acides humiques produits par la synthèse bactérienne, il se forme conjointement de nombreuses combinaisons avec l'argile pédologique.

Une partie importante de ces composés s'élabore dans le tube digestif des animaux fouisseurs dès l'apparition des acides humiques par une réaction à peu près immédiate. Une autre partie résulte de la décomposition sur place des fines radicelles qui se trouvent normalement en contact intime avec les colloïdes argileux.

Il est intéressant de souligner que le rôle des complexes organo-minéraux apparaît surtout dans l'édification de grumeaux stables, rendant la terre bien poreuse pour l'air et pour l'eau, dans le maintien d'une bonne structure en d'autres termes.

Il naît ainsi des horizons minéraux fortement imprégnés de substances humiques sur de grandes épaisseurs et sur lesquels s'observe une rapide disparition de la matière organique tombée en surface.

L'humus correspondant est le *mull*.

Quand les activités bactériennes sont supplantées par

celles des moisissures, l'humification est ralentie et moins poussée. Elle ne parvient plus à suivre le rythme annuel des apports de litière.

La matière organique s'accumule en surface en formations plus ou moins puissantes désignées par la *couverture morte* dans la littérature ancienne et par les *horizons organiques* ou *horizons holorganiques* dans la terminologie actuelle.

Lorsque cette couverture superficielle est délavée par les eaux de pluie elle abandonne des produits très acides du genre *acides fulviques* ou *humolignines* exerçant une action très défavorable sur le sol minéral. Il apparaît une altération plus ou moins énergique des argiles avec entraînement des hydrates de fer et naissance des horizons blanchis caractéristiques, bien visibles dans le cas extrême et bien connu des podzols.

L'humus est alors du type *mor* ou *humus brut*.

Un troisième grand groupe d'humus présente des propriétés intermédiaires entre les *mull* et les *mor*. Il s'agit des *moder*.

Si les conditions écologiques ne permettent pas le développement abondant des vers de terre, sans qu'il y ait toutefois intervention notable des champignons, c'est aux petits animaux non-fouisseurs comme les acariens, les collemboles et d'autres espèces qu'il appartient de produire un humus spécial très répandu dans la nature forestière.

Les *moder* ont une composition assez proche de celle des *mull* ; comme ces derniers ils sont constitués surtout de résidus coprogènes. Mais il leur manque les combinaisons avec les colloïdes minéraux pour donner les complexes caractéristiques signalés à propos des *mull*. Ils forment de minces dépôts à la surface du sol qui influencent peu les horizons minéraux sous-jacents. Mais ils sont dépourvus des propriétés défavorables du *mor*.

Examinant maintenant les formations d'humus en conditions anaérobies et en l'absence de toute faune fouisseuse, on constate l'existence extrêmement réduite de complexes organo-minéraux. Il y a tout au plus un mélange plus ou moins grossier dans les situations les plus favorables.

S'il se forme de la tourbe à sphaignes, l'action de la matière organique sur le sous-sol minéral conduit à l'altération progressive de l'argile pédologique avec élimination du fer, c'est-à-dire l'élément qui colore les sols normaux en tonalités allant du jaune au brun foncé. Apparaissent ainsi les *argiles blanches* bien connues des forestiers des hauts plateaux ardennais.

Sur les bases que nous venons d'esquisser très rapidement et nous inspirant d'une classification biologique des humus suggérée par le pédologue autrichien HARTMANN, il devient aisé de classer comme suit les différentes formations organiques du sol :

A. Humus aérobies.

1. Humus zoogènes.
   a — de vers ou *mull* ;
   b — d'insectes ou *moder* ;
2. Humus mycogènes ou *mor* ;

B. Humus anaérobies.

1. *Moder* humides.
   a — semi-tourbeux ;
   b — tourbeux ;
   c — marécageux ;
2. *Mor* humides.
   a — *mor* tourbeux ;
   b — tourbes à sphaignes.

Il suffit de passer en revue les principaux types d'humus pour soulever de nombreux problèmes touchant les fonctions écologiques de la matière organique du sol et

pour montrer l'intérêt forestier des études relatives à l'humification sous les peuplements ligneux.

Dans le cadre du présent exposé, seules les formations aérobies seront envisagées.

1. — Les *mull*.

Ces formations ont donc comme caractères communs d'être riches en produits de synthèse microbienne, d'être associés en complexes stables avec les colloïdes minéraux.

De plus, ils sont aisément floculables par le calcium et sont généralement mélangés sur une grande épaisseur au substrat minéral.

Ils confèrent au sol une structure grumeleuse très favorable.

Riches en azote, ou ce qui revient au même, possédant un rapport C/N faible dans leur composition élémentaire, ils sont le siège d'une nitrification abondante et continue et, en général, d'une active minéralisation amenant une circulation rapide et soutenue des éléments biogènes accumulés dans la matière morte qui retourne régulièrement au sol.

Il est possible de distinguer plusieurs groupes dans les *mull* suivant la richesse en bases du milieu édaphique.

Pour nos régions nous pouvons décrire :

Les *mull calcaires*.

Ils sont assez rares d'ailleurs en Belgique, et recouvrent les roches calcareuses sur les sites à microclimat spécialement aride, par exemple sur les expositions méridionales des vallées ou des vallons calcaires, et couvertes d'une végétation à caractères plus ou moins steppiques, à base de graminées xérophiles et de plantes thermophiles.

Ces humus ne peuvent se maintenir en équilibre sous un couvert forestier continu qui élimine l'excès de cal-

caire grâce aux nombreuses activités biologiques productrices d'acide carbonique.

Pour des raisons diverses, ces humus ont des propriétés moins favorables que les *mull* du groupe suivant, les *mull doux*. Il existe cependant une essence introduite qui s'en accommode bien, c'est le pin noir.

Les *mull doux*.

Ce sont essentiellement les humus des forêts feuillues de la chênaie à charme, formés sur un substrat minéral profond, riche en bases mais sans excès, et sous de bonnes conditions climatiques assurant une alimentation régulière en eau.

Comme nous l'avons vu, ils correspondent à une activité faunique intense caractérisée spécialement par le brassage important effectué sur de grandes profondeurs par les gros vers fouisseurs.

Parmi les composants de la flore ligneuse et herbacée, il se trouve de nombreuses espèces à enracinement profond qui assurent une circulation active des éléments nutritifs.

La rapidité des processus de l'humification entraîne l'absence d'horizons organiques de surface.

Les valeurs du rapport C/N sont les plus faibles, aux environs de 10-12.

Les phénomènes de l'ammonisation et de la nitrification sont très actifs et assurent une alimentation azotée bien régulière.

La garniture ionique du complexe sorbant est souvent très bonne et se manifeste par un pH neutre ou peu acide ne descendant pas sous les valeurs de 5,5.

La structure des horizons à *mull* est bonne, bien grumeleuse, assez stable, mais enregistrant déjà les conséquences d'un régime déséquilibré comme le traitement en taillis ou la substitution à la forêt feuillue à base de chêne d'une forêt de hêtre.

Même quelque peu malmenés, les sols à mull doux possèdent cependant un potentiel de restauration remarquable lorsqu'ils sont soumis au peuplement d'essences de station exploitées en régime adéquat.

Les *mull acides.*

Ce sont aussi des humus essentiellement zoogènes mais se formant en milieu pauvre en bases.

Ils donnent encore lieu à une bonne minéralisation de l'azote et à une circulation biologique rapide des éléments biogènes.

Mais comme le facteur chimique est au minimum dans les sols à mull acide, il importe que tous les autres facteurs soient favorables. Aussi sur les terrains pauvres de l'Ardenne ils apparaissent surtout sur les flancs nord des vallées, c'est-à-dire en conditions microclimatiques les plus fraîches, là où n'intervient pas la dessiccation estivale.

De plus, la situation fréquente en pente permet le maintien par voie mécanique d'une bonne porosité même si les propriétés de la matière organique deviennent moins favorables à ce sujet.

2. — Les *moder.*

Ces formations organiques résultent donc de l'accumulation superficielle des petits grumeaux coprogènes abandonnés par les arthropodes phytophages comme les acariens et les collemboles. Ces résidus mélangés en proportions variables à des débris végétaux peu décomposés donnent à la surface du sol des horizons holorganiques caractéristiques que l'on reconnaît aisément en soulevant la litière la plus récente. Comme aucune des espèces animales qui engendrent le *moder* n'a de pouvoir fouisseur important, on conçoit aisément que l'humus ne se mélange pas avec le substrat minéral sur lequel il ne peut donc exercer une action structurale notable.

Sur les pentes, les sols à *moder* peuvent conserver une porosité normale pour des raisons mécaniques, mais sur plateaux ou pentes faibles les phénomènes de tassement apparaissent fréquemment sous les horizons humifères. Si ce tassement coïncide avec une forte pluviosité, il peut donner lieu à des engorgements superficiels

que l'on décèle fréquemment sous les aspects du *micro-gley*.

Les sols à *moder* se distinguent encore des sols à *mull* par une autre économie en azote et en bases.

Dans le cas des sols à *mull*, les éléments nutritifs sont répartis sur une profondeur notable. Dans le cas de sols à *moder*, il y a tendance à une accumulation en surface, spécialement de l'azote qui se maintient presque exclusivement sous forme organique. Il y a donc un autre mode de nutrition à envisager pour les végétaux qui doivent faire appel pour une grande part à l'intervention des mycorrhizes (1).

D'ailleurs dans les sols à *moder* typiques, existe une strate radiculaire très superficielle qui cherche à épuiser les réserves accumulées dans les horizons organiques.

Il est possible de concevoir que la concentration en surface d'une certaine partie des racines amène un épuisement en eau plus intense dans les parties élevées du profil minéral, circonstance qui tend également à maintenir les types *moder* aux dépens des types *mull*.

Les types *moder* s'imposent ou se substituent aisément aux formes *mull* dans un certain nombre de cas dont nous allons citer quelques-uns à titre d'exemple :

— Quand il s'agit de sols pauvres en bases, dont l'économie en eau imparfaite par excès ou par défaut, est incompatible avec la pullulation des espèces intéressantes des vers de terre et l'épanouissement profond des racines. Parmi les sols à propriétés hydriques mal équilibrées, une mention spéciale doit être faite des sols à pseudo-gley abondants en Marlagne, en Famenne et en Fagne, et sur les plateaux ardennais. Par suite de l'existence en profondeur d'un horizon peu perméable, ces formations pédologiques sont très humides en hiver et deviennent, par contre, sèches en été quand les végétaux ont épuisé la réserve d'eau accumulée sur la couche compacte.

(1) Champignons vivant dans les tissus radiculaires.

— Lorsqu'il y a prédominance d'espèces végétales à enracinement peu profond, provoquant une mauvaise utilisation des réserves d'eau du sol, comme c'est le cas sous le couvert de hêtres, quand les prélèvements d'humidité superficielle ne sont pas compensés par une pluviosité correspondante.

— Sans doute lorsqu'il y a eu dégradation par exploitation abusive de la forêt, ayant amené un appauvrissement considérable des stocks nutritifs de la terre.

3. — Les *mor*.

Ces types se manifestent sous la plupart des forêts résineuses naturelles ou artificielles, et sous certaines végétations spéciales comme les landes à bruyères.

Sur sols très pauvres et desséchés superficiellement, ils peuvent même se produire sous certains feuillus comme le hêtre.

A la loupe, le *mor* se présente comme une masse d'éléments botaniques plus ou moins reconnaissables, mais fortement corrodés et agglomérés par un feutrage mycélien.

Il comprend donc peu d'acides humiques proprement dits, mais plutôt des substances résiduelles peu altérées. Son rapport C/N est élevé et correspond à une absence à peu près totale de nitrification. Comme nous l'avons déjà vu, il exerce des actions podzolisantes par ses percolats très acides.

Tous les forestiers connaissent les podzols de la Campine sous landes à bruyères et les micro-podzols sous les hêtraies à myrtilles colonisant les flancs sud des hautes vallées ardennaises.

Les sols à humus brut ont une économie en éléments nutritifs spécialement défavorable. Les bases sont énergiquement lessivées par les matières acides entraînées par les eaux ; l'azote reste immobilisé sous forme organique dans les horizons holorganiques sauf intervention des mycorrhizes, et les autres éléments biogènes rame-

nés au sol par la litière annuelle risquent d'être fortement fixés par le pouvoir sorbant de la matière organique. On comprend que seules des couvertures spécialisées comme les peuplements résineux peuvent encore tirer parti de ces conditions défavorables.

Après cette brève description et compte tenu d'autres données qu'il n'est pas possible d'approfondir en un court exposé, il reste à souligner en conclusion que les *mull*, *moder* et *mor* représentent trois formes de la matière organique des sols forestiers qui correspondent chacun :

— à des agents biologiques d'élaboration bien spécifiques,

— à des propriétés bien particulières concernant leur composition (rapport C/N) et leur influence sur les colloïdes minéraux et par conséquent sur la structure des sols,

— à une économie propre en azote et en éléments nutritifs minéraux, qu'il s'agisse des éléments majeurs comme la potasse, l'acide phosphorique ou le calcium, ou qu'il s'agisse des oligo-éléments comme le cuivre, pour rappeler un exemple récemment mis en évidence par P. SIMONART et A. HUYGH au Centre de Biologie forestière de Bokrijk,

— à des interférences d'ailleurs réciproques au sujet des propriétés hydriques, par l'intermédiaire de la structure et de la porosité du sol, ou par l'intermédiaire du mode de répartition des racines dans le profil.

Il est un dernier aspect dont l'étude est encore peu développée sous forêt. Il s'agit de l'intervention de toute une série de substances actives provenant du catabolisme des matières organiques sur le sol ou au sein du milieu édaphique, à l'intervention des microorganismes. On peut énumérer des substances à actions vitaminiques et auxiniques, des antibiotiques, des substances freinantes et antiphytotiques, etc., qui règlent certainement pour une part importante les relations entre eux

des différents composants biologiques de la forêt: faune, microorganismes et plantes supérieures, parmi lesquels se trouvent les espèces ligneuses.

Des observations, récentes pour la plupart, faites par des auteurs comme BUBLITZ, OOYAMA, WINTER, etc., ont montré l'existence dans les feuilles ou l'humus de certaines essences, de produits capables d'actions diverses intéressant spécialement le forestier comme:

— l'inhibition de la germination de graines d'espèces ligneuses comme le hêtre ou l'épicéa,

— le ralentissement des phénomènes de l'humification provoquant l'accumulation de mor,

— les entraves apportées à une mycorrhisation normale, etc.

Après ces données préliminaires et générales, il sera possible de donner dans la suite quelques exemples indiquant d'une manière plus précise comment le problème de l'humus rencontre les principales préoccupations pratiques du forestier.